

《化工过程模拟实训——Aspen Plus 教程》(第二版)以 Aspen Plus V8.4 为模拟软件,结合过程实例系统介绍了 Aspen Plus 的操作步骤以及应用技巧。本书内容相较第一版更加完善。全书共分为 14 章,第 1 章介绍化工过程模拟的基础知识;第 2 章介绍流程建立的基本操作步骤;第 3 章介绍物性方法;第 4~8 章介绍 Aspen Plus 中各单元操作模块应用方法和技巧;第 9 章介绍 Aspen Plus 中基本的流程选项和模型分析工具;第 10 章介绍复杂精馏过程模拟;第 11 章介绍工艺流程模拟的步骤和经验;第 12 章介绍流程以及 RadFrac 模块的收敛技巧和策略;第 13 章介绍石油蒸馏过程模拟;第 14 章介绍简单动态模拟。附录部分介绍了 Activated Energy Analysis、Column Analysis 以及 CUP-Tower 的功能与应用。每章节中的例题均有具体的说明与详尽的解题步骤,读者按书中的说明与步骤进行学习即可逐步掌握 Aspen Plus 软件的使用方法和技巧。本书中的典型例题配有演示视频,可通过扫描二维码观看。

本书可作为高等学校化工相关专业本科生和研究生的教学参考书,也可作为石油与化工等领域从事过程开发、设计与生产管理的工程技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工过程模拟实训——Aspen Plus 教程/孙兰义主编.
2 版. —北京:化学工业出版社,2017.9
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
ISBN 978-7-122-30251-9

I. ①化… II. ①孙… III. ①化工过程-流程模拟-
应用软件-高等学校-教材 IV. ①TQ02-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 173421 号

责任编辑:徐雅妮
责任校对:宋 玮

文字编辑:丁建华 任睿婷
装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 36 $\frac{1}{4}$ 字数 936 千字 2017 年 10 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址:<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:79.00 元

版权所有 违者必究

《化工过程模拟实训——Aspen Plus教程》

编写人员

主 编 孙兰义

编写人员 (按姓氏笔画排序)

丁 雪	于 娜	于英民	王建新
朱 毅	朱敏燕	刘育良	李 伟
李 军	李 杰	李 源	李鲁闽
陈梦琪	林世强	柳士开	钟 旺
侯亚飞	侯影飞	赫佩军	

前言

化工过程模拟是化学工程技术人员解决化工过程问题时普遍采用的技术手段，Aspen Plus 作为化工过程模拟的重要软件之一，经过 30 多年的不断发展和改进，得到了越来越广泛的应用。很多工程公司、设计院和高校都是 Aspen Plus 的用户，其已成为公认的标准化工过程模拟软件之一。Aspen Plus 具有庞大的数据库和完备的单元操作模块，能够处理多种复杂体系，并对模拟过程中的物料和能量衡算、各单元操作模块参数、物流性质等进行严格计算，为工业过程的模拟与优化提供相对可靠的参考。

《化工流程模拟实训——Aspen Plus 教程》(第一版)详细介绍了 Aspen Plus 软件的操作步骤以及应用技巧，注重应用与原理的结合。第一版自出版以来便受到广大化工科研与设计人员、高校师生的欢迎。第一版中的所有例题均以 Aspen Plus V7.2 为模拟软件，但是随着 Aspen Plus 软件的不断更新，其操作界面已经发生较大变化，给初学者的学习与应用带来不便，特对其进行改编。第二版书名由《化工流程模拟实训》改为《化工过程模拟实训》，所有例题均采用 Aspen Plus V8.4 进行模拟介绍。针对第一版的问题与不足，已在本书中进行修改，内容更加充实，能够满足广大读者的需求。

考虑到物性方法的重要性，本书对第 3 章内容进行了较大改动，重点介绍物性方法的应用、物性分析、估算与回归。第 10 章复杂精馏过程模拟新增变压精馏、热泵精馏以及内部热耦合精馏三节。第 11 章工艺流程模拟新增模拟实例——甲苯甲醇侧链烷基化制苯乙烯一节，进一步介绍了过程模拟中的经验和技巧。鉴于读者对动态控制模拟的学习需求，新增第 14 章动态模拟入门，介绍 Aspen Plus Dynamics 在过程控制中的应用，以便读者掌握动态控制的基本操作过程。本书中的典型例题配有演示视频，可通过扫描例题附近的二维码观看。此外，本书附录对 Activated Energy Analysis、Column Analysis 以及 CUP-Tower 进行了简单介绍，可增强读者对相关软件的了解并掌握使用方法。

读者可以发送邮件到 sunlanyi_cuptower@126.com 获取本书例题和习题模拟源文件。通过学习本书，初学者可以快速熟悉 Aspen Plus 的各项功能，具有一定软件应用基础的读者能够进一步提升对 Aspen Plus 和相关软件的认识。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2017 年 5 月

第一版前言

从 20 世纪 50 年代开始,人们就开始利用计算机解决化工过程的数学问题,目前化工过程模拟已成为化学工程技术人员普遍采用的技术手段。随着计算机计算能力的快速提高以及软件技术的迅速发展,模拟计算的准确性和可靠性大大增强,应用范围不断拓宽,在化工过程开发、设计、生产操作的控制与优化、操作培训和技术改造等方面均有应用。Aspen Plus 是基于稳态化工模拟、优化、灵敏度分析和经济评价的大型化工流程模拟软件,由美国 Aspen Tech 公司研发,是唯一能处理带有固体、电解质、生物质和常规物料等复杂体系的流程模拟系统。

本书详细介绍了 Aspen Plus 软件的操作步骤以及应用技巧,注重其应用与原理的结合。内容共分 14 章,主要包括化工过程模拟的基本知识,流程建立的基本操作方法和步骤,Aspen Plus 中各个模块的应用方法和技巧,流程模拟的步骤和经验,原油蒸馏过程的模拟,几种复杂精馏过程的模拟,流程以及 RadFrac 模块的收敛技巧和策略,Aspen Plus 和其他 Windows 程序协同使用的方法。为了方便本书的学习以及扩展读者的学习内容,本书还配有书中例题与习题的 Aspen Plus bkp 文件、Aspen Energy Analyzer、化工过程经济分析与评价、Aspen Plus 与外部换热器软件联用以及塔内件设计软件 CUP-Tower 等内容,可登录 www.cipedu.com.cn 下载。通过对本书的学习,可以提升读者对 Aspen Plus 的认识,并能用其进行化工系统的流程模拟及优化。

本书所有例题均以 Aspen Plus V7.2 版本为例,不同版本的 Aspen Plus 在界面和内容上可能有所差异,请各位读者朋友注意。同时,尽管化工过程有诸多相同的单元操作,但具体实现过程不尽相同,甚至相差甚远。在应用 Aspen Plus 进行模拟时,要充分考虑到每个过程的特殊性,具体问题具体分析,选用合理的模块组合,找出最佳的流程设计。

本书由孙兰义主编,第 1、2、3、9 章由毕欣欣编写,第 4、8 章由王俊编写,第 5、10 章由王丁丁编写,第 6、11 章由全本军编写,第 7、13 章由武佳编写,第 12 章由毕欣欣、王丁丁、王俊、武佳、沈琳共同编写,第 14 章由沈琳编写,丁雪、赫佩军、侯影飞、于英民参与修改工作,全书由孙兰义修改定稿。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012 年 3 月

目 录

第1章 绪论

1.1 化工过程模拟 / 1

- 1.1.1 化工过程模拟简介 / 1
- 1.1.2 化工过程模拟的功能 / 1
- 1.1.3 化工过程模拟系统构成 / 2

1.2 Aspen Plus 软件 / 2

- 1.2.1 Aspen Plus 简介 / 2
- 1.2.2 Aspen Plus 主要功能 / 3

第2章 Aspen Plus 入门

2.1 图形界面 / 4

- 2.1.1 Aspen Plus 界面主窗口 / 4
- 2.1.2 主要图标功能 / 5
- 2.1.3 状态指示符号 / 5
- 2.1.4 Aspen Plus 专家系统(Next) / 5

2.2 Aspen Plus 自带示例文件 / 6

2.3 物性环境 / 7

2.4 模拟环境 / 11

- 2.4.1 设置全局规定 / 11
- 2.4.2 建立流程图 / 12
- 2.4.3 输入物流数据 / 15
- 2.4.4 输入模块数据 / 16

2.5 运行模拟 / 18

2.6 查看结果 / 19

第3章 物性方法

3.1 Aspen 数据库 / 21

3.2 物性方法简介 / 26

- 3.2.1 理想气体和理想液体 / 26
- 3.2.2 REFPROP 和 GERG2008 / 27
- 3.2.3 状态方程法 / 27
- 3.2.4 活度系数法 / 35

3.2.5 亨利定律 / 37

3.2.6 电解质物性方法 / 41

3.2.7 固体物性方法 / 42

3.2.8 蒸汽表 / 42

3.2.9 传递性质模型 / 43

3.3 物性方法选择 / 44

- 3.3.1 状态方程法和活度系数法比较 / 44
- 3.3.2 常见体系物性方法推荐 / 45
- 3.3.3 经验选取 / 47
- 3.3.4 使用帮助系统进行选择 / 48

3.4 物性方法和路线 / 49

3.5 游离水、污水和严格三相计算 / 51

3.6 物性参数和数据 / 56

3.7 物性集 / 57

3.8 物性分析 / 60

3.9 物性参数估算 / 78

- 3.9.1 纯组合物性参数估算 / 79
- 3.9.2 与温度相关的物性模型参数估算 / 85
- 3.9.3 二元交互作用参数估算 / 86
- 3.9.4 UNIFAC 官能团参数估算 / 92

3.10 物性数据回归 / 92

3.11 TDE 简介 / 105

3.12 焓值计算 / 116

3.13 体积流量 / 119

3.14 电解质组分 / 119

第4章 简单单元模拟

4.1 混合器/分流器 / 130

- 4.1.1 混合器 / 130
- 4.1.2 分流器 / 133

4.2 倍增器/复制器 / 135

- 4.2.1 倍增器 / 135
- 4.2.2 复制器 / 137

- 4.3 简单分离器 / 138
 - 4.3.1 两出口闪蒸器 / 138
 - 4.3.2 三出口闪蒸器 / 140
 - 4.3.3 液-液分相器 / 142
 - 4.3.4 组分分离器 / 144
 - 4.3.5 两出口组分分离器 / 145

第5章 流体输送单元模拟

- 5.1 概述 / 148
- 5.2 泵 / 148
- 5.3 压缩机 / 153
- 5.4 多级压缩机 / 155
- 5.5 阀门 / 159
- 5.6 管道 / 161
- 5.7 管线 / 163

第6章 换热器单元模拟

- 6.1 概述 / 170
- 6.2 加热器/冷却器 / 170
- 6.3 两股物流换热器 / 180
- 6.4 多股物流换热器 / 194

第7章 塔单元模拟

- 7.1 概述 / 198
- 7.2 精馏塔简捷设计 / 199
- 7.3 精馏塔简捷校核 / 204
- 7.4 精馏塔严格计算 / 205
- 7.5 气体吸收模拟 / 221
- 7.6 塔板和填料的设计与校核 / 224
 - 7.6.1 塔效率 / 224
 - 7.6.2 塔板和填料的设计与校核 / 226
- 7.7 溶剂萃取模拟 / 231
- 7.8 电解质模拟 / 235

第8章 反应器单元模拟

- 8.1 概述 / 242
- 8.2 化学计量反应器 / 243
- 8.3 产率反应器 / 248
- 8.4 平衡反应器 / 250
- 8.5 吉布斯反应器 / 252

- 8.6 化学反应 / 254
- 8.7 全混釜反应器 / 257
- 8.8 平推流反应器 / 260
- 8.9 间歇反应器 / 264

第9章 过程模拟工具

- 9.1 流程变量 / 271
- 9.2 设计规定 / 273
- 9.3 计算器与 Fortran / 276
- 9.4 传递模块 / 278
- 9.5 平衡模块 / 282
- 9.6 灵敏度分析 / 285
- 9.7 优化与约束条件 / 291
- 9.8 数据拟合 / 296

第10章 复杂精馏过程模拟

- 10.1 萃取精馏 / 309
- 10.2 共沸精馏 / 317
- 10.3 变压精馏 / 329
- 10.4 反应精馏 / 333
- 10.5 三相精馏 / 341
 - 10.5.1 简单三相精馏 / 341
 - 10.5.2 三相反应精馏 / 343
- 10.6 多效精馏 / 347
- 10.7 隔壁塔 / 357
- 10.8 热泵精馏 / 366
- 10.9 内部热耦合精馏 / 377
- 10.10 精馏塔热力学分析和水力学分析 / 384
- 10.11 塔板数-热负荷(NQ)曲线 / 393

第11章 工艺流程模拟

- 11.1 带有循环的工艺流程 / 397
- 11.2 工艺流程模拟经验总结 / 403
- 11.3 模拟实例——乙苯催化脱氢制苯乙烯 / 404
- 11.4 模拟实例——甲苯甲醇侧链烷基化制苯乙烯 / 412

习题 / 424

第 12 章 收敛和故障诊断

习题 / 513

12.1 序贯模块法流程收敛 / 432

- 12.1.1 流程循环与设计规定 / 432
- 12.1.2 收敛选项 / 434
- 12.1.3 断裂物流 / 440
- 12.1.4 收敛模块 / 440
- 12.1.5 收敛嵌套顺序 / 440
- 12.1.6 计算顺序 / 446
- 12.1.7 流程排序 / 446
- 12.1.8 查看结果 / 447
- 12.1.9 控制面板信息 / 448

12.2 流程收敛故障诊断 / 451

- 12.2.1 影响流程收敛的主要因素 / 451
- 12.2.2 流程收敛策略 / 451
- 12.2.3 断裂物流收敛问题 / 452
- 12.2.4 设计规定收敛问题 / 453
- 12.2.5 计算器模块收敛问题 / 454
- 12.2.6 优化模块收敛问题 / 454
- 12.2.7 计算顺序和收敛问题 / 454

12.3 RadFrac 模块收敛 / 459

- 12.3.1 RadFrac 模块求解策略 / 459
- 12.3.2 RadFrac 模块收敛问题 / 463
- 12.3.3 RadFrac 模块收敛故障排除建议 / 465
- 12.3.4 自定义收敛方法 / 468

第 13 章 石油蒸馏过程模拟

13.1 石油及油品的物理性质 / 472

- 13.1.1 密度和 API 重度 / 472
- 13.1.2 特性因数 / 473
- 13.1.3 其他性质 / 473

13.2 石油蒸馏类型 / 474

13.3 原油评价数据库 / 476

13.4 石油馏分物性估算方法 / 476

13.5 石油馏分在模拟中的处理方法 / 477

- 13.5.1 逐一定义虚拟组分 / 478
- 13.5.2 通过石油蒸馏曲线生成虚拟组分 / 478
- 13.5.3 石油馏分的混合 / 487

13.6 石油蒸馏模拟示例 / 493

- 13.6.1 预闪蒸塔设定与模拟 / 495
- 13.6.2 常压塔模拟 / 502

第 14 章 动态模拟入门

14.1 概述 / 515

14.2 稳态模型导入动态模拟 / 518

14.3 闪蒸罐动态模拟 / 523

14.4 反应器动态模拟 / 530

- 14.4.1 利用反应器热负荷控制反应温度 / 531
- 14.4.2 利用冷却介质温度控制反应温度 / 535
- 14.4.3 利用冷却介质流量控制反应温度 / 536

14.5 精馏塔动态模拟 / 538

- 14.5.1 温度控制结构 / 538
- 14.5.2 浓度控制结构 / 545

14.6 隔壁塔动态模拟 / 547

附录

附录 1 Activated Energy Analysis 示例 / 551

附录 2 Column Analysis 示例 / 560

附录 3 CUP-Tower 简介 / 567

参考文献 / 571

例题演示视频

(扫二维码观看, 建议在 WiFi 环境下使用)

- 例 2.1 演示视频 / 7
- 例 3.7 演示视频 / 65
- 例 3.11 演示视频 / 80
- 例 3.15 演示视频 / 97
- 例 4.5 演示视频 / 139
- 例 5.1 演示视频 / 149
- 例 6.2 演示视频 / 173
- 例 6.4 演示视频 / 181
- 例 7.1 演示视频 / 199
- 例 7.3(1)~(4) 演示视频 / 206
- 例 8.6 演示视频 / 261
- 例 9.1 演示视频 / 274
- 例 9.5 演示视频 / 286
- 例 10.1 视频演示 / 309

第1章

绪论

1.1 化工过程模拟

1.1.1 化工过程模拟简介

化工过程模拟可分为稳态模拟和动态模拟两类。通常所说的化工过程模拟多指稳态模拟，本书介绍如何运用 Aspen Plus 进行稳态模拟以及动态模拟入门。

过程模拟实际上就是使用计算机程序定量计算一个化学过程中的特性方程。其主要过程是根据化工过程的数据，采用适当的模拟软件，将由多个单元操作组成的化工流程用数学模型描述，模拟实际的生产过程，并在计算机上通过改变各种有效条件得到所需要的结果。模拟涉及的化工过程中的数据一般包括进料的温度、压力、流量、组成，有关的工艺操作条件、工艺规定、产品规格以及相关的设备参数。

化工过程模拟是在计算机上“再现”实际的生产过程。但是这一“再现”过程并不涉及实际装置的任何管线、设备以及能源的变动，因而给了化工过程模拟人员最大的自由度，使其可以在计算机上“为所欲为”地进行不同方案和工艺条件的探讨、分析。因此，过程模拟不仅可节省时间，也可节省大量资金和操作费用；同时过程模拟系统还可对经济效益、过程优化、环境评价进行全面的分析和精确评估；并可对化工过程的规划、研究与开发及技术可靠性做出分析。

化工过程模拟可以用来进行新工艺流程的开发研究、新装置设计、旧装置改造、生产调优以及故障诊断，同时过程模拟还可以为企业装置的生产管理提供可靠的理论依据，是企业生产管理从经验型走向科学型的有力工具。

1.1.2 化工过程模拟的功能

(1) 科学研究、开发新工艺

20 世纪 60~70 年代以前，炼油、化工行业新流程的开发研究，需要依靠各种不同规模